

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

Волчек А.А.

Брестский государственный технический университет,

г. Брест

E-mail: Volchak@tut.by

*Введение.* Водные ресурсы являются важнейшей составляющей природно-ресурсного потенциала любой страны. Они интенсивно используются и определяют развитие экономики. Хотя вода и относится к категории возобновляемых природных ресурсов, но, несмотря на это, ее использование должно строго регламентироваться, чтобы исключить возможность необратимых изменений в состоянии природных экосистем. Поэтому в настоящее время среди первоочередных задач рационального природопользования в Беларуси стоит проблема сохранения природных ресурсов и в первую очередь водных ресурсов. Необходимым и важным условием рационального использования водных ресурсов является наличие своевременной, достоверной и полной информации о водных ресурсах. Кроме того, остро стоит проблема загрязнения природных вод вследствие сброса сточных вод и других видов антропогенного воздействия. Ухудшение и сокращение водных ресурсов может не только нанести вред окружающей среде, снизить эффективность производства, сказаться на здоровье населения, но и стать причиной конфликтных ситуаций между государствами, расположенными в одном речном бассейне.

Многочисленные исследования убедительно доказали, что водные ресурсы являются достаточно чувствительными к изменению климата. В настоящее время некоторые из

$$Y_K(I) = H(I) - E(I) \pm \Delta W(I),$$

где  $H(I)$  – суммарные ресурсы увлажнения, мм;  $E(I)$  – суммарное испарение, мм;  $Y_K(I)$  – суммарный климатический сток, мм;  $\Delta W(I)$  – изменение влагозапасов деятельного слоя

где  $E_m(I)$  – максимально возможное суммарное испарение – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата, мм;  $W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость почвогрунтов, мм;  $V(I) = W(I)/W_{HB}$  – относительная

негативных последствий уже обозначились, а, в отдельных случаях, серьезно дают о себе знать.

*Целью настоящей работы* – оценка водных ресурсов, динамики водопотребления в Республике Беларусь, возможных тенденций в колебаниях водного режима при различных сценариях развития климата в будущем и экономического развития страны.

*Исходные данные и методики.* В качестве основных исходных материалов использованы стандартные данные наблюдений на гидрометеорологической сети за период инструментальных наблюдений, материалы водохозяйственной и экономической статистики Республики Беларусь за период с 1990 – 2012 гг., т.е. за период существования Беларуси как самостоятельного государства. В качестве основного показателя водопотребления рассматривается общее водопотребление с подразделением на отдельные отрасли, а также учетные данные по сбросу сточных вод.

Методологической основой исследований являются научные положения о стохастической природе изменчивости элементов водного баланса, что позволило использовать статистические методы анализа временных рядов, методы анализа водного и теплоэнергетического баланса подстилающей поверхности, математического моделирования.

Прогноз изменения водного режима рек Беларуси осуществлялся с использованием метода гидролого-климатических расчетов (ГКР). Метод основан на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [5] и адаптированный нами для условий Беларуси.

Уравнение водного баланса речного водосбора имеет вид:

$$(1)$$

почвогрунтов за расчетный интервал, мм;  $I$  – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по следующему уравнению связи:

$$E(I) = E_m(I) \left[ 1 + \left( \left( \frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)} \right) / \left( \left( \frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I) \right) \right)^{n(I)} \right)^{-\frac{1}{n(I)}} \right], \quad (2)$$

влажность почвогрунтов на начало расчетного периода;  $KX(I)$  – сумма измеренных атмосферных осадков за расчетный период, мм;  $g(I)$  – грунтовая составляющая водного баланса, мм;  $r(I)$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава

почвогрунтов;  $n(I)$  – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

$$V(I+1)=V(I) \times \left( V_{cp}(I)/V(I) \right)^{r(I)}; \quad (3)$$

$$V_{cp}(I) = \left( (KX(I) + g(I)/W_{HB} + V(I)) / (E_m(I)/W_{HB} + V(I)^{1-r(I)}) \right)^{\frac{1}{r(I)}}. \quad (4)$$

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в

$$H(I) = KX(I) + W_{HB}(V(I) - V(I+1)). \quad (5)$$

Метод ГКР реализован нами в виде компьютерной программы «Баланс». Моделирование водного баланса водосбора реки осуществляется в два этапа: настройка модели и собственно моделирование стока [3]. Изменяя параметры ( $W_{HB}$ ,  $g$  и  $n$ ) и используя систему уравнений (2) – (5), производится настройка модели. После калибровки модели выполняются исследование в зависимости от поставленной задачи.

*Результаты и их обсуждение. Водные ресурсы и их изменения в современных условиях.* Анализ гидрологической информации по рекам Беларуси за период инструментальных наблюдений позволил выявить следующие закономерности.

Поверхностные водные ресурсы представлены в республике главным образом речным стоком, который в средние по водности годы составляет  $57,9 \text{ км}^3$ . В многоводные годы общий речной сток увеличивается до  $92,4 \text{ км}^3$ , а в маловодные снижается до  $37,2 \text{ км}^3$  в год. Общий объем воды, аккумулированной в озерах, оценивается в  $6 - 7 \text{ км}^3$ ; объем водохранилищ –  $3,1 \text{ км}^3$ . Естественные ресурсы подземных вод составляют  $15,9 \text{ км}^3$ .

Среднегодовые и обеспеченные величины стока крупных рек Беларуси практически не изменились. Увеличение стока рр. Свислочь и Днепр вызвано переброской части стока р. Виля (0,2  $\text{км}^3/\text{год}$ ). Трансформация внутригодового распределения имеет место на р. Припять, р. Днепр – г. Речица и р. Березина. Годовой сток малых рек на юге и юго-западе Беларуси увеличился, на северо-западе незначительно уменьшился. Антропогенная нагрузка на речной

Относительная влажность почвогрунтов на конец расчетного периода определяется из соотношений:

работе [1]. Суммарные ресурсы увлажнения определяются по уравнению

сток, в основном, за счет безвозвратных потерь воды при водопотреблении, не превышает 3 % и находится в пределах точности гидрологических расчетов. Влияние антропогенных факторов на сток малых рек более существенно, особенно крупномасштабных мелиораций на Полесье. С конца 90-х годов прошлого столетия на большей части Беларуси уменьшилась скорость ветра, что повлекло за собой уменьшение суммарного испарения и испарения с водной поверхности. Это является одной из причин изменения водного режима рек и уровней озер. Карта среднегодового модуля стока рек Беларуси, построенная с учетом современных изменений климата, представлена на рис. 1 [3].

Практически на всей территории Беларуси произошли существенные уменьшения максимальных расходов воды весеннего половодья. Это обусловлено в первую очередь климатическими процессами, выраженными увеличением числа и продолжительности оттепелей в зимний период. Исключение составляют реки бассейна р. Припять на территории Брестской области, где существенного изменения максимальных расходов воды весеннего половодья не произошло (изменения колеблются от 0 до -10 %). Это вызвано большой степенью мелиорированности водосборов, что компенсировало влияние природных факторов, вызывающих уменьшение стока. Наибольшее уменьшение стока весеннего половодья выделяется на р. Виля (от -50 до -80 %). Это вызвано переброской части стока р. Виля через Вилейско-Минскую водную систему в р. Свислочь.

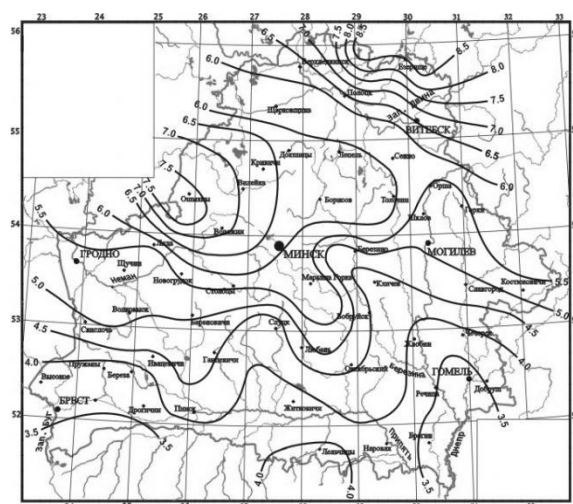


Рисунок 1. – Карта среднего годового стока рек Беларуси за период 1956-2005 гг., л/(с·км<sup>2</sup>)

Средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья за период последнего повышения температуры воздуха на территории Беларуси сместились на более ранние сроки (71,5 % случаев пик половодий приходится на третью декаду марта) в направлении с юго-запада на северо-восток Беларуси. Основной причиной смещения пиков половодий на реках Беларуси являются климатические факторы. Существенной трансформации в форме гидрографов не наблюдается, хотя в отдельных случаях имеет место некоторая трансформация формы гидрографов, вызванная антропогенными факторами [6].

Для максимальных расходов воды паводков на реках Беларуси характерно, что в период 1966 – 2010 гг. по сравнению с периодом от начала инструментальных наблюдений до 1965 г. на большинстве рек Беларуси произошло уменьшение величины максимальных расходов воды дождевых паводков на 10 – 30 %, за исключением рек бассейна Припяти, где их величина в результате проведения крупномасштабных мелиораций увеличилась на 10 – 20 %. В период современного потепления климата (1988 – 2010 гг.) по сравнению с предшествующим периодом (1966 – 1987 гг.) на реках севера и северо-востока страны произошло увеличение максимальных расходов воды дождевых паводков на 20 – 30 %, на реках юга и запада – уменьшение на 10 – 30 %.

На большинстве рек Беларуси имеется тенденция к росту максимальных расходов воды зимних паводков. При этом их абсолютная величина существенно не увеличилась по сравнению с более ранними периодами в связи с увеличением их частоты. Исключение

составляют реки бассейна Западной Двины, для которых характерен заметный рост на 20 – 40 % величины максимальных расходов воды зимних паводков в период современного потепления климата.

На реках Двинско-Днепровского района в периоды потеплений климата (потепление Арктики и современное), которые сопровождались увеличением количества выпадающих атмосферных осадков, наблюдался рост величины дождевых паводков, в период 1966 – 1987 гг. – снижение. Реки Неманского района имеют резко выраженную тенденцию к снижению величины дождевых паводков, особенно заметную с середины 80-х гг. XX в. На реках Бугского района, также имеющих тенденцию к снижению величины паводков, заметно выделяются большие дождевые паводки, которые наблюдались на всех реках района в 1970-е гг. Бугский район соответствует зоне уменьшения атмосферных осадков в современный период потепления климата. На реках Припятского района наибольшие паводки отмечались в период 1966 – 1987 гг., при этом большое влияние на величину дождевых паводков оказало проведение крупномасштабной мелиорации [4].

Для большинства рек Беларуси отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних и зимних минимальных расходов воды, причем на большей части рек скорость изменения стока в зимний период больше, чем в летне-осенний период. Наибольшие изменения произошли в Белорусском Полесье, наименьшие – в бассейне р. Неман, а в бассейне р. Виляя летне-осенний и зимний минимальный сток уменьшился; на реках бассейна Немана летне-осенний минимальный сток увеличился, а зимний – уменьшился, на

северо-востоке Беларуси летне-осенний минимальный сток уменьшился, а зимний – увеличился. Минимальные расходы летней межени устойчиво возрастают, вследствие улучшения дренирования грунтовых вод и увеличения стока летних осадков. Произошли изменения в наступлении дат наименьшего расхода воды в период открытого русла и зимнего периода [2].

Под воздействием антропогенных факторов абиотические и биотические компоненты водных систем претерпели значительные изменения. Первые значимые изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах водных экосистем датируются концом 1960-х – началом 1970-х годов. В воде рек и озер практически повсеместно установлен рост концентраций ряда компонентов, достоверно превышающий их фоновые значения: хлоридов (в 2 – 9 раз), сульфатов (в 1,5 – 2 раза) и щелочных металлов (в 1,3 – 3 раза).

В настоящее время вода большинства рек страны относится к категории относительно чистой и умеренно загрязненной. Поверхностные воды загрязнены в основном легко окисляемыми органическими веществами, соединениями азота и фосфора, тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Загрязняющие вещества поступают в водные объекты не только с выпусками промышленных и коммунальных

сточных вод, но и с ливневым стоком с территорий предприятий и городов, стоянок автотранспорта и дорожных магистралей, со сбросом загрязнений с животноводческих комплексов и с выносом не ассимилированных растениями химических компонентов удобрений с сельскохозяйственных угодий.

В целом можно отметить, что наметились тенденции к уменьшению загрязнения рек Беларуси, однако, по-прежнему качество поверхностных вод на отдельных участках рр. Свислочь, Ясельда, Березина, Западный Буг, Днепр, Виляя, Неман не удовлетворительно.

В динамике потребления воды Республикой Беларусь отмечается общая тенденция снижения потребления воды. Это вызвано различными факторами, среди которых в первую очередь следует отметить спад экономики на начальном этапе становления Беларуси как самостоятельной страны, переход на современные мало водоемкие технологии, изменение политики в области водопотребления и водопользования направленной на рациональное использование водных ресурсов и т.д.

В динамике общего водопотребления на различные нужды с 1992 по 2012 гг. отчетливо прослеживается тенденция к уменьшению водопотребления до 2009 г., а затем намечается некоторая тенденция к росту водопотребления (рис. 2).

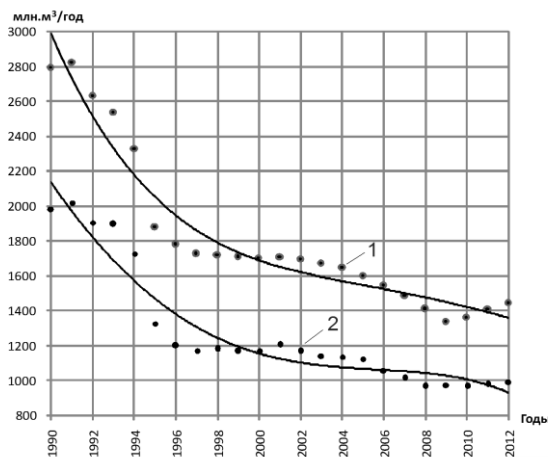


Рисунок 2. – Динамика использования водных ресурсов Беларуси: 1 – общее водопотребление, 2 – сброс сточных вод.

В отношении объемов сбрасываемых сточных вод наблюдается ситуация схожая с общим водопотреблением. Прослеживается снижение объемов сточных вод до 1996 г., после которого отмечается определенная стабилизация, а, начиная с 2002 г. количество сточных вод, сбрасываемых в водные объекты снова

постепенно уменьшается и только с 2009 г. наблюдается незначительное их увеличение.

Изменения в объемах забираемой воды, повлекли за собой и преобразования в структуре водопользования (рис. 3), что отразилось в первую очередь на социальной составляющей водопотребления.

*Прогнозные оценки.* Прогнозные оценки изменения водного режима рек моделировались с использованием следующих сценариев развития климата.

На основании выявленных тенденций в изменениях температуры воздуха, атмосферных осадков и дефицитов влажности воздуха за период 1985 – 2010 гг. выполнены прогнозные оценки основных показателей климата. Прикладные исследования позволили построить на перспективу до 2020 года карты среднегодовых и месячных температур воздуха, атмосферных осадков, дефицитов влажности воздуха. Результаты моделирования среднеегодового климатического стока рек на период до 2020 г. и его внутригодового

распределения представлены в виде карт прогнозных оценок в (% от стока 2010 года).

На рис. 4 изображена карта годового изменения климатического стока. При прогнозируемых трендах комплекса климатических параметров на 2020 г., сток рек бассейнов Западной Двины и Вилии уменьшится в среднем на 5 – 10 % по сравнению с уровнем 2010 г. Годовой сток рек в бассейнах Немана и Западного Буга значительных изменений не претерпит. Максимальный рост среднегодового стока воды рек может произойти в бассейнах Днестра и Припяти и может достигать для отдельных водосборов 20 %. Наибольшая возможная внутригодовой трансформации речного стока произойдет в марте – июне.

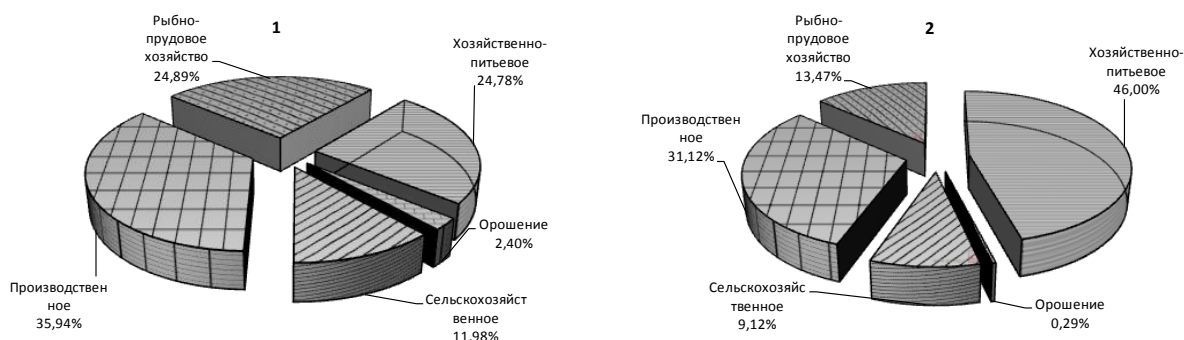


Рисунок 3. – Структура водопотребления: 1 – в 1990 г., 2 – в 2012 г.

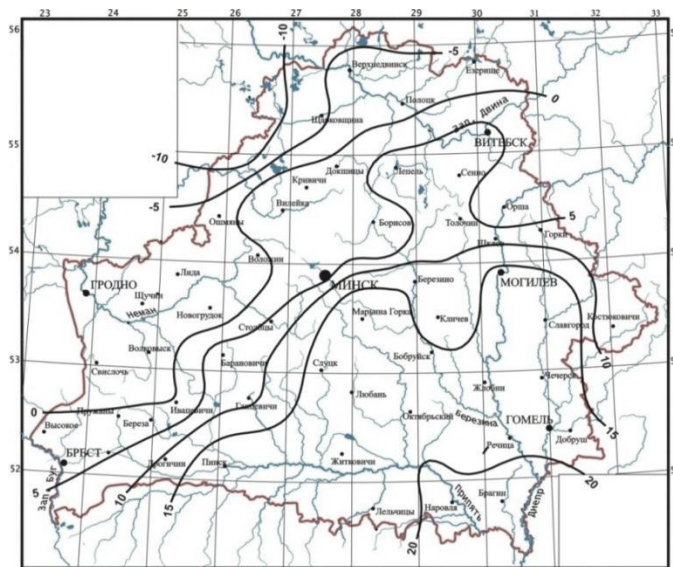


Рисунок 4. – Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата в 2020 г., в % по отношению 2010 г.

Годовые значения стока будут изменяться в направлении от северо-запада к юго-востоку территории Беларуси составят от -10 % до 25 %. В зимний период существенное (до 35 %)

изменение климатического стока в сторону увеличения произойдет в Витебской и Могилевской областях. Для весеннего половодья характерно повышение климатического стока (до

40 %) в южной и восточной частях территории Беларуси. В мае возможно увеличение стока (до 70 %) в районе Житковичей, в целом в мае колебания стока составят от -10 % до 40 %. Для летнего периода возможно изменение стока в среднем от -40 % до 70 %. В сентябре – октябре вероятна тенденция уменьшения стока (до 70 %) практически на всей территории Беларуси [3].

По второму варианту использовались прогнозные оценки для двух сценариев развития климата A1B и B1 для 24 рек водосбора бассейна Немана в рамках проекта «Управление водными ресурсами бассейна реки Неман с учетом адаптации к изменению климата» программы пилотных проектов Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных наций, выполненные совместно со специалистами из ЦНИИКИВРа. A1B (relatively high-emission scenario) – более «жесткий» сценарий, относительно высокие выбросы парниковых газов за счет быстрого развития экономики и роста численности населения до середины XXI века, а затем замедление роста населения, быстрое внедрение современных технологий и сбалансированное использование энергетических ресурсов, а B1 (low-emission scenario) – более «мягкий» сценарий, невысокие выбросы парниковых газов, весьма вероятна внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии A1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную, а также общество становится менее потребительским, интенсивное внедрение новых чистых технологий.

Оценка и тенденции изменения метеорологических характеристик осуществлялась на основе их характеристик за период с 1961 по 2010 гг. Это позволило установить увеличение среднегодовой температуры воздуха, а также температуры в зимний и летний периоды (наиболее значительное повышение температуры произошло в январе); увеличение количества осадков в зимнее время; снижение стока весеннего половодья с более ранним наступлением его пика, увеличение стока в зимний период на большей территории бассейна.

Долгосрочные на период 35 – 50 лет (2021 – 2050 гг.) сценарии изменения климата для бассейна р. Неман получены путем расчетов по региональной климатической модели CCLM с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5. Региональная

климатическая модель включает большую часть Европы и наиболее приемлема для ее использования при прогнозировании изменения климата.

Прогноз изменения стока на период с 2021 по 2050 гг. выполнялся с использованием двух методологически схожих гидрологических моделей для сценариев A1B и B1 с использованием модели WatBal с расчетами суммарного испарения и водного баланса (расчеты выполнены экспертами из Литвы) и белорусской модели гидролого-климатических расчетов «Баланс».

По прогнозам изменения стока на период 2021 – 2050 гг. сохраняются выявленные за период с 1961 по 2009 гг. тенденции незначительного увеличения среднегодового стока в бассейне р. Неман. Увеличение стока может произойти в зимний период (до +40 %), в основном в январе и в феврале, за счет увеличения количества осадков и частоты оттепелей; максимальный поверхностный сток весеннего половодья может уменьшиться на большей части бассейна р. Неман, весеннее половодье также будет начинаться раньше из-за более короткой продолжительности периода снежного покрова. Резкого возрастания риска наводнений в бассейне не прогнозируется, за исключением верховий Немана. Вместе с тем, риски наводнений могут повыситься при росте интенсивности освоения пойм рек, в том числе в результате изменений в землепользовании.

Неопределенности прогнозирования стока с учетом изменения климата с использованием гидрологических моделей обусловлены как погрешностями самих моделей и их верификации, так и неопределенностями используемых в них исходных данных.

В качестве примера на рис. 5 приведены прогнозные изменения гидрографа стока р. Неман в створе г. Столбцы для различных сценариев развития климата, а в таблице представлены средние значения изменения стока рек бассейна Неман.

Согласно обобщенного прогноза будущего воздействия изменения климата на качество воды ожидается снижение содержания растворенного кислорода в поверхностных водах в летний период на 0,25 мг/дм<sup>3</sup>; возможное увеличение минерализации на 3 – 10 %. В результате снижения содержания растворенного кислорода может произойти увеличение концентраций биогенных загрязняющих веществ, а также ухудшение

гидробиологических показателей качества поверхностных вод.

Прогноз стока в бассейне Немана с учетом изменения климата и перспективного водопользования на территории Беларуси можно свести к следующему: воздействие изменения климата на поверхностный сток будет более значительным в сравнении с прогнозируемым изменением водопользования. По прогнозам, использование воды для промышленности в Беларуси будет увеличиваться на 0,5 – 2,0 % в год в случае оптимистичного сценария

экономического развития, что будет оказывать незначительное влияние на режим поверхностного стока. Изменение стока в большей степени будет связано с природными факторами, а не с прогнозным изменением водопользования, максимальное сокращение поверхностного стока за счет прогнозного водопользования может составлять до 5 %, в то время как его максимальное сокращение в летне-осенний период связанных с изменением климата, может составлять до 20 %.

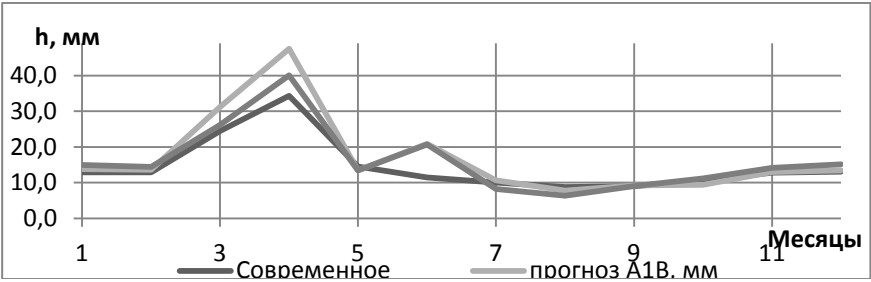


Рисунок 5. – Гидрографы годового стока р. Неман в створе г. Столбцы для различных сценариев климата.

Таблица 1 – Средние значения стока рек бассейна р. Неман в % к 2010 г. для различных сценариев развития климата

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Сценарий изменения климата A1B												
126,4	124,1	112,9	120,3	152,1	136,0	108,5	104,1	111,3	95,9	110,1	123,1	119,2
Сценарий изменения климата B1												
106,1	112,6	110,1	100,7	126,7	139,6	90,9	91,4	132,6	117,4	107,8	123,3	112,2

*Заклучение.* Полученные результаты требуют дальнейшей апробации с привлечением массовых экспериментальных данных, анализа возможных ошибок прогноза практической разработки на их основе компенсационных мероприятий по уменьшению последствий влияния изменения климата на водные ресурсы Беларуси. Современный этап использования водных ресурсов в Республике Беларусь характеризуется стабилизацией их потребления. В обозримом будущем в стране не следует ожидать значительного роста или падения водопотребления и существующие водные ресурсы в полной мере будут удовлетворять потребности всех отраслей экономики и требованиям экологического стока. Однако это не снимает проблему очистки природных и сточных вод, качества природных, безопасность функционирования водных экосистем.

Список использованных источников

1. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А.А. Волчек // Мелиорация и водное хозяйство. – 1986. – №12. – С.17 – 21.
  2. Волчек, А.А. Минимальный сток рек Беларуси / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. – Брест: БрГУ, 2010. –169 с.
  3. Волчек, А.А. Оценка и прогноз естественных водных ресурсов Беларуси / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ; под ред. Н.В. Бышова. – Рязань, 2013. – С.434 – 440.
  4. Волчек, А.А. Пространственно-временные колебания дождевых паводков на реках Белоруссии / А.А. Волчек, Т.А. Шелест // Известия РАН. Серия географическая, 2012, №3, С. 76 – 83.
  5. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Ч. I / В.С. Мезенцев, Г.В. Белоненко, И.В. Карнацевич, В.В. Лоскутов – Омск, 1980 – 80 с.
- Логинов, В.Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Ан.А. Волчек – Минск: Беларуская навука, 2014. – 244 с.